

平成 22 年 6 月 21 日現在

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19254001
 研究課題名（和文）：ペルー海岸地方における先土器時代神殿の建築構造と自然災害に関する学際的研究
 研究課題名（英文）：A multi-disciplinary study of pre-ceramic era temple structure and natural disasters in the Peruvian coastal region
 研究代表者
 藤澤 正視（FUJISAWA MASAMI）
 筑波技術大学・産業技術学部・教授
 研究者番号：90228982

研究成果の概要（和文）：

ラス・シクラス遺跡の発掘を実施し、同遺跡の中核的遺構の北マウンドの様態を解明した。マウンド上部の建築群は形成期早期（紀元前 2900～1800 年）の神殿建築であり、少なくとも 8 回の神殿更新が認められた。その過程で多量のシクラが使用されたのがこの遺跡の特徴である。シクラ構造を模擬した試験体で振動台実験を行った。その結果、一定の制振効果をもつことが確認される一方で、ある条件のもとでは、その効果がなくなるという特徴が示唆され、シクラを持つ神殿の地震動に対する挙動と被害軽減効果を確認した。

研究成果の概要（英文）：

Excavations were made at the Las Shicras archaeological site, providing much information about the North Mound of the core structure of the site. The structures on top of the mound are temple architecture that dates from the early formative period (2900-1800 B.C.), and they were found to have been subjected to renewal or replacement work at least 8 times. During those processes, large amounts of shicra were used, which is one of the distinguishing features of this site. It was determined that the shicra provided a certain level of seismic resistance, but under certain conditions it appeared that this effect was lost. These findings confirmed the behavior of the shicra-containing temple in response to seismic motion, and the effect of shicra in mitigating damage.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	11,400,000	3,420,000	14,820,000
2008 年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
2009 年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
年度			
年度			
総計	25,400,000	7,620,000	33,020,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：文化財科学

キーワード：アンデス考古学、耐震工学、地質学、文化人類学、ラス・シクラス遺跡、シクラ、振動応答低減効果、振動台実験

1. 研究開始当初の背景

研究代表者（藤澤）は、これまでペルーにおいて耐震構工法の研究と歴史的建造物の耐震化などの支援活動を行ってきた。研究代表者と、その現地拠点であったペルー天野博物館（故天野芳太郎氏がリマ市に創設した考古学博物館）の研究スタッフ（阪根博氏）との連携により、ペルー中部海岸のチャンカイ谷で「ラス・シクラス遺跡」と名づけた極めて重要な遺跡の存在が確認された。神殿とみられる遺構からは、植物繊維で石を袋状に巻いたシクラが見つかり、その放射性炭素年代は、4800年前から4100年前と測定された。チャンカイ谷はリマの北方約100キロに位置するが、そこからさらに北に約150キロの位置にあるスペ谷においても、ほぼ同時期とされるカラル遺跡の存在が約10年前に確認され、ペルー人の考古学調査団によって本格的な発掘が進められている。

これまで、アンデス古代文明の形成時期は、山岳地域における大規模神殿の建設や初期の土器制作などの文明諸要素の成立を根拠に紀元前2千年紀と考えられていた。その時期を千年以上遡る海岸部のこれら神殿遺跡の考古学的研究の成果等によって、アンデス文明の形成過程に関する定説が塗り変えられつつある（Shady Solis, Ruth 2004 CARAL The City of Sacred Fire, Graph & Consult, Lima）。ラス・シクラス遺跡はカラル遺跡と同時期であり、その地域的文化的な広がりや変異を明らかにできる、考古学上も極めて学術的価値の高い遺跡であることから、ペルー天野博物館が同館研究員であるペルー人考古学者らによる発掘調査団を組織し、2006年6月に予備的な発掘を実施した。

この遺跡の特徴は、組積の石にシクラ（石を詰めた袋状の植物性ネット）を使用した補

強土工法を用いていることである。石積みの外壁の内側にシクラがびっしりと詰められていることが予備的発掘で明らかになった。シクラは耐震性に優れた構造をもっており、アンデス古代文明がその初期段階から地震など自然災害への対策を講じていた形跡が遺構に見られるのである。しかしながら、考古学的研究においては、これまで通常は雨の降らないペルー海岸に大雨をもたらす気候変動「エル・ニーニョ現象」による水害との関係が問題にされてきたが、地震と古代文明の関係はほとんど検討されてこなかった。

そこで、当該研究では、耐震工学、建築構造学、岩石学、構造地質学、感性工学、アンデス考古学、文化人類学、民族植物学などの専門家による学際的な研究チームを組織し、その総合的な研究成果として、自然災害研究と古代文明の関り、すなわちアンデス古代文明の成立過程における自然災害とりわけ地震の影響、自然災害への古代人の建築構造上の対策の叡知を明らかにしようとするものである。そのために、ラス・シクラス神殿の建築学的構造及びその耐震諸特性、過去の地震や地層などに関する地質学的な条件、先土器時代（文明形成初期）のアンデス古代文明の特質などを探求する。

2. 研究の目的

ペルー国は太平洋に面しているが、ナスカ海洋プレートが南アメリカ大陸プレートにもぐり込み、その衝突によりひずみが発生する。ひずみエネルギーの発散が地震となり、太平洋岸地域に度々大きな地震が発生してきた。この地域の巨大地震は、同じ場所では数百年に一度というような再来頻度である。地震についての研究は、最近の100年間に長

足の進歩を遂げたが、このような巨大地震については、地質学的あるいは考古学的な立場に立った古地震研究を基礎に、地球科学に裏打ちされた歴史的な考証がなされなければならない。当該研究では、ペルー天野博物館が実施する考古学的発掘と連携し、神殿の構造を建築学的な見地から明らかにし、その耐震諸特性を常時微動測定や振動台実験などの手法によって解明する。また、地質学によりアンデス地域と海岸地域における過去の地震現象、チャンカイ谷の地質構造を明らかにする。それらの研究成果と関連づけて、発掘調査団と連携し、考古学分野から先土器時代に神殿を築いたアンデス文明の特質を検討する。文化人類学的見地からは、遺跡の文化的特徴を民族考古学的手法により、明らかにする。以上を総合し、自然災害と古代文明の盛衰について検討する。

3. 研究の方法

本研究は、ペルー天野博物館に研究拠点を置き、ペルー国立工科大学・日本ペルー地震防災センターと連携し、考古学的かつ耐震工学的研究を実施してきた。考古学的研究は、大貫良夫（東京大学名誉教授）がアドバイザーを努め、ワルテル・トソ（天野博物館）を団長とする発掘調査団を組織した。耐震工学的研究は、セノン・アギュラールとカルロス・サバラ（日本ペルー地震防災センター）両教授協力体制のもと、ラス・シクラス遺跡及び周辺地域における常時微動測定などの各種工学的測定を共同で行った。

ラス・シクラス遺跡は南北約50m、東西30mの2つのピラミッド状のマウンドからなる。北のマウンドの頂上に盗掘坑が掘られ、そこが部屋の内側に当たっていた。この縦坑の壁面の調査により、少なくとも5回の増改築が

なされていたことが判っている。アンデス古代遺跡のいわゆる神殿更新である。これまでの発掘により北マウンドの西側と南マウンドの南側にトレンチが入れられ、数段の石積の壁とその内側に夥しいシクラ（石を植物製ネットで覆ったもの）が詰められている。当該研究においては、発掘調査と共同し、シクラと石壁によって形成されている神殿の建築構造を調査し、地震の形跡、耐震構造などを分析する。具体的な調査は以下の通りである。

（1）耐震工学・建築構造学研究

神殿の建築構造の構成材料や構工法およびそれらの力学的安定性の観点から調査・分析を行うとともに、当時の耐震に関する知見や構造的対策について調査・分析の結果を取りまとめる。また、神殿の構造を模した模型試験体を作成し、これによる振動台実験を行い、振動性状を明らかにする。常時微動観測・振動台実験等を通して振動性状や力学性状等の分析を行う。

（2）地質学・地震学研究

収集資料の解析を行ったうえで引き続き遺跡及び周辺地域の地質・断層等の調査を行い、地質図を完成させる。また、地震観測結果をまとめて既存資料とともに考察し、遺跡周辺のサイズミシティを明らかにする。

（3）考古学研究

分担者は、発掘調査と共同し、遺構、遺物の分析を行うと共に、これまでのアンデス考古学の成果を整理し、ラス・シクラス遺跡の構造的特徴、文化的特徴を分析する。

（4）文化人類学研究

シクラスの植物の同定、同定植物の周辺地域における利用技術を調査する。アンデスの環境適応、動植物を中心とする環境利用、山岳地域と海岸地域の交流などを調査する。また、考古学担当者、耐震工学担当総括者らと共同し、遺跡の文化的特質を分析する。

(5) CG・シミュレーション

耐震工学、建築構造学、地質学・地震学、考古学担当者と共同し、遺跡のCG図を作成し、遺構の分析に役立てる。

4. 研究成果

(1) 考古学的研究

2007年度、2008年度にラス・シクラス遺跡の発掘調査を実施し、基礎データの収集を行った。2009年には整理作業を集中して行った。同じ先土器時代の神殿は多く確認されているが、同遺跡は中央に深い盗掘坑が開けられており、内部を観察できるというメリットがあった。そのため盗掘坑内部のデータをできるだけ有効に活用するよう、調査が進められた。10時期以上にわたる建築の編年を整備し、各時期に伴う遺物の特徴を整理した。特に部屋を埋めるためのシクラの特徴が、時期によってどのように変化するかを解明することが目的の一つであったが、建築構造の把握のため、深く掘り下げるのではなく、発掘区を広げる方針がとられた。そのためラス・シクラス遺跡の後の方の時期のデータを収集することはできたが、古い時代のデータは盗掘坑内部にほぼ限定されている。マウンドの麓に設定した発掘区では、盗掘坑の底の部分とほぼ同じ高さの建造物が検出されており、初期の建造物である可能性があり、放射性炭素年代による確認が必要である。盗掘坑のデータを有効活用する方針で調査が進められたため、メインアクセスがどちらにあったのか、何段の基壇構造なのか、発掘を集中的に行った北マウンドの建築は殆ど未発掘の南マウンドの建築とどのような関係にあったのかなど、遺跡全体にかかわる問題は多くが未解決である。出土遺物の分析は現在進行中である。建築時期との対応関係を前提として、時期的変化が認められるか、あるいはは

場所によって異なるかに注目している。発掘期間中に観察した限りでは、あまり大きな変化はない傾向にある。そのことはラス・シクラス遺跡が安定して同じ性格の儀礼習慣、神殿更新を安定して継続、維持していたことを示している。このような等質的な神殿更新は、コトシュ遺跡などでも確認されており、外部からの要素をどんどん取り込み、変化していった後の時代の神殿更新とは異なっている。

(2) 耐震工学・建築構造学的研究

19年度の現地調査期間中、ペルー沿岸でM8の地震が発生した。耐震工学・建築構造学担当者は、被災地の被害状況を調査すると共に、現地研究者と連携し、地震データを記録し、発生原因、特徴、被害状況などを明らかにした。14地点で得られた強震記録は当該研究で有効活用されると共に、ペルー国内の地震防災計画策定等への利用が期待される。耐震工学・建築構造学班は、模擬シクラ基礎を用いた振動台実験の解析を行った。シクラ基礎の地震時振動応答特性として、以下の事項が推察される。①シクラの最大応答を示す周波数に近い振動、およびそれより高い周波数の振動では、シクラ基礎は振動応答低減効果を有する。②シクラの最大応答を示す周波数よりも低い振動ではシクラ基礎は振動応答低減効果が少ない。③シクラ基礎の振動応答低減効果はシクラ基礎の厚さに依存する。厚さが薄いと効果が小さく、厚くしすぎると応答を増幅する効果がある。④シクラ基礎と碎石のみの基礎の層厚が同じ場合の卓越周波数はほとんど同じである。⑤シクラの効果は見かけ剛性を向上させるのではなく、減衰効果を上げることが主な作用であると考えられる。

ラス・シクラス遺跡のような遺構は固有周波数が高いことから、神殿更新が成されていない初期の段階では、シクラ基礎は地震時に

振動応答低減効果を発揮したことが推察され、神殿更新を繰り返して構造物の固有周波数が低くなるにつれて、シクラ基礎の振動応答低減効果がなくなり、地震時の安定性を欠くことになったことも推察される。また、シクラ遺跡の特徴を把握するため、南部海岸地域の他の神殿実見と文献調査を行った。異なる文化的変化のプロセスがあったことの一因に、人間の自然災害への対処の違いが見られ、地域や時代によって、試行錯誤のあり方に違いが認められた。

(3) 地質学・地理学的研究

シクラ遺跡とその周辺及びチャンカイ谷の河口から源流部までアンデス山脈を横断する地質調査を行った。遺跡及び周辺山地の岩石は、後期白亜紀(約1億年～6500万年前)の火山活動で形成された玄武岩質安山岩だと確認した。チャンカイ水系は、下流部(河成段丘)、中流部土(石流段丘)、上流部(峡谷・V字谷や地すべり)、および高原(氷食谷・U字谷や端堆石堤・羊背岩、低平な氷河侵食・堆積地形の集合)に区分されることが理解された。地質学・地理学担当者は、チャンカイ川の主谷の出現する地形の景観から、①下流部、②中流部、③上流部、および④高原に区分され、それぞれ、1)河成段丘・土石流段丘、2)峡谷(V字谷)や地すべり、3)氷食谷(U字谷)や端堆石堤・羊背岩、4)低平な氷河侵食・堆積地形の集合、に特徴づけられることを確認した。また、地質も、1)白亜紀深成岩類、2)第三紀火山岩類、3)白亜紀堆積岩類、4)第三紀火山砕屑岩層が分布していることを確認した。

(4) 文化人類学的研究

チャンカイの河口から高原までを探索し、高原と海岸の交流に関する予備的研究を行った。また、ラクダ科動物骨の分析のための準備作業として出土動物骨を整理した。さら

に、ペルー中・南部高地を踏査し、ラクダ科家畜の放牧形態、植生などを比較調査し、地域的多様性を把握した。考古学担当者は、ラス・シクラ遺跡と同時期の諸遺跡の調査報告を分析すると共に、発掘中の遺跡の最新データを収集し、先土器時代の神殿の共通性とラス・シクラ遺跡の特殊性を検討した。動物生態学担当者は、ラクダ科野生動物ビクニヤの生態調査を継続すると共に、映像資料を作成し、ラクダ科野生動物の習性やドメスティケーションに関する生物学的研究の基礎データを得た。遺伝学担当者は、獣骨からDNAを抽出し試料化する条件を探るため、フニン高原で現生のラクダ科家畜の骨を採取し、現地で調製したDNA試料を日本に輸送し、ミトコンドリア遺伝子の部分配列を解読するためのPCR条件を検討した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計15件)

- ① 山本 紀夫、ドメスティケーションと土着宗教—アンデスの場合、国立民族学博物館調査報告、査読有、84巻、2009、485-518
- ② 大山 修一、山本 紀夫、近藤 史、ジャガイモの栽培化—ラクダ科動物との関係から考える、国立民族学博物館調査報告、査読有、84巻、2009、177-203
- ③ 苅谷 愛彦、高橋 浩、稲村 哲也、川本 芳、藤澤 正視、ペルー中部・チャンカイ谷の地形と地質—ラスシクラ遺跡調査団 2007年調査概要報告、査読有、地質ニュース 652、2009、13-20
- ④ 山本 紀夫、「アンデスの伝統的農耕技術」作物生産の未来を拓く、京都大学学術出版会、査読無、2008、23-60
- ⑤ 福山 洋・菊池 健児・阿部 秋男、2007年8月15日のペルー地震被害報告(その3. チンチャ、カニエテ付近の被害)、日本地震工学会大会梗概集、査読無、2007、450-451
- ⑥ 渡部 森哉、インカ国家における地方支配—ペルー北部高地カハマルカ地方の事例、国立民族学博物館研究報告、査読有、32(1)巻、2007、87-144
- ⑦ 渡部 森哉、ペルー北部高地、パレドネス遺跡の発掘調査・2006年、古代アメリカ、査

[学会発表] (計15件)

- ①渡部 森哉 ワリ期の社会動態-ペルー北部の事例より 古代アメリカ学会第14回研究大会、2009年12月5日南山大学
- ②福山 洋、藤澤 正視、阿部 秋男、稲村 哲也、ペルー・ラスシクラス遺跡のシクラ基礎の地震応答特性に関する振動台実験、日本建築学会、2009年8月、東北学院大学
- ③稲村 哲也 アンデスの牧畜・狩猟 中部人類学談話会第186回例会 ミニ・シンポジウム『アンデスのラクダ科動物とその利用に関する学際的研究』、2008年3月29日、椛山女学園大学
- ④川本 芳、アンデスのラクダ科動物に関する遺伝学的研究 中部人類学談話会第186回例会 ミニ・シンポジウム『アンデスのラクダ科動物とその利用に関する学際的研究』、2008年3月29日、椛山女学園大学
- ⑤阿部 秋男、2007年8月15日のペルー地震被害報告(その2.強震計記録)、日本地震工学会大会、2007年11月13日、東京大学地震研究所
- ⑥川本 芳、遺伝子からみたアンデス高地のラクダ科動物の特徴と家畜化、民族自然誌研究会 第47回例会『狩猟・牧畜論再考-アンデスから見る』、2007年4月21日、京都大学
- ⑦大山 修一、朝日新聞出版、ラクダ科野生動物ビクーニャの生態、民族自然誌研究会 第47回例会『狩猟・牧畜論再考-アンデスから見る』、2007年4月21日、京都大学

[図書] (計6件)

- ①渡部 森哉、春風社、インカ帝国の成立-先スペイン期アンデスの社会動態と構造、2010、504
- ②大貫良夫、朝日選書 863、朝日新聞出版、「アンデス文明形成期研究の五〇年」『古代アンデス-神殿から始まる文明-』(大貫良夫・加藤泰建・関雄二編)、2010、55-103
- ③渡部 森哉、行路社、浅香幸枝編『地球時代の多文化共生の諸相』、担当「インカ帝国における多民族・多文化状況」、2009、22
- ④山本 紀夫、岩波書店、ジャガイモのきた道、2008、210
- ⑤渡部 森哉他、世界思想社、「インカ帝国成立モデルの再検討」『他者の帝国-インカはいかにして「帝国」となったか』：2008、165-186

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤澤正視 (FUJISAWA MASAMI)
筑波技術大学・産業技術学部・教授
研究者番号：90228982

(2) 研究分担者

- 稲村 哲也 (INAMURA TETSUYA)
愛知県立大学・外国語学部・教授 研究者番号：00203208
- 渡部 森哉 (WATANABE SHINYA)
南山大学・人文学部・講師 研究者番号：00434605
- 福山 洋 (FUKUYAMA HIROSHI)
独立行政法人建築研究所・構造研究グループ・上席研究員 研究者番号：60344008 (H19→H20：連携研究者)
- 菊池 健児 (KIKUCHI KENJI)
大分大学・工学部・教授 研究者番号：50117397 (H19→H20：連携研究者)
- 高橋 浩 (TAKAHASHI YUTAKA)
独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員 研究者番号：50357373 (H19→H20：連携研究者)
- 五十嵐 浩也 (IGARASHI HIROYA)
筑波大学・人間総合科学研究科・准教授 研究者番号：80258839 (H19→H20：連携研究者)
- 山本 紀夫 (YAMAMOTO NORIO)
国立民俗学博物館・民族文化研究部・名誉教授・研究者番号：90111088 (H19→H20：連携研究者)
- 川本 芳 (KAWAMOTO YOSHI)
京都大学・霊長類研究所・准教授 研究者番号：00177750 (H19→H20：連携研究者)
- 大山 修一 (OHYAMA SYUICHI)
首都大学東京・都市環境学部・助教 研究者番号：00322347 (H19→H20：連携研究者)

(3) 研究協力者

- 大貫 良夫 (OHNUKI YOSHIO)
東京大学・名誉教授
- 阪根 博 (SAKANE HIROSHI)
天野博物館・学芸主任
- ワルテル・トソ (WALTER TOSSO)
天野博物館・研究員
- セノン・アギユラル (ZENON AGUILAR)
ペルー国立工科大学・日本ペルー地震防災センター・教授
- カルロス・サバラ (CARLOS ZAVALA)
ペルー国立工科大学・日本ペルー地震防災センター・教授
- 鶴見 英成 (TSURUMI EISEI)
東京大学・総合研究博物館・特任研究員
- 藤井 義晴 (FUJII YOSIHARU)
独立行政法人農業環境技術研究所・上席研究員
- 阿部 秋男 (ABE AKIO)
株式会社東京ソイルリサーチ・つくば総合試験所・所長